

Çok Girişli Çok Çıkışlı Sistemlerde Anten Seçimi ve Anten Seçiminde Kullanılan Algoritmaların Karşılaştırılması

¹ İbrahim Develi ² Egemen N. Yazlık ³ Yasin Kabalcı

¹ Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi, 38030 Kayseri

² Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Erciyes Üniversitesi, 38030 Kayseri

³ Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi, 38030 Kayseri

¹eposta: develi@erciyes.edu.tr ²eposta: egemenertok@hotmail.com
³eposta: yasinkabalcı@gmail.com

Özet

Çoklu anten sistemleri, kablosuz haberleşme sistemlerinin güvenilirlik ve kapasitesini arttıran bir yaklaşımdır. Bunun yanında çoklu anten sistemleri ebat, güç ve donanım bakımından iyileştirilmesi gereken sistemlerdir. Çok Girişli Çok Çıkışlı (ÇGÇÇ) sistemlerde anten seçimi, düşük maliyetli ve düşük karmaşıklığa sahip bir sistem tasarlamak için gereklidir. Bu çalışmada, anten seçiminin ÇGÇÇ sistemlerdeki önemi ele alınmıştır ve literatürde yaygın olarak kullanılan algoritmaların avantajları ve dezavantajları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Giriş Çoklu Çıkış sistemler, Anten seçimi, Diferansiyel gelişim algoritması, Kablosuz haberleşme

1. Giriş

Kablosuz haberleşme sistemlerinin spektral verimliliğinin artırılması ve bağlantı güvenliğinin iyileştirilmesi konuları gelecek çalışmaların motivasyon kaynağıdır. Kablosuz haberleşme ortamı sönümlenme ve girişim etkilerinden ötürü dostane olmayan bir ortamdır. Çeşitleme sayesinde iletilmek istenen işaret idealde bağımsız çok sayıda kopya halinde gönderilir. Bu sayede sönümlenme ve girişimle mücadele edilmiş olunur. Son yıllarda ortam (veya anten) çoklama oldukça popüler bir hale gelmiştir. Kablosuz ortamın alıcı ve verici uçlarında çoklu anten kullanımı olağanüstü veri oranlarına ulaşmamıza vesile olmuştur [1].

ÇGÇÇ sistemler olarak da bilinen çoklu anten sistemleri, bit hata oranları (BHO) ve kanal kapasitesi üzerinde meydana getirdikleri olumlu etkilerden ötürü son zamanlarda büyük ilgi görmektedir. Fakat, bu kazancın yanında donanım olarak ek bir maliyet getirmektedir. Bu maliyeti düşürmek ve aynı zamanda ÇGÇÇ sistemlerin meydana getirdiği çok

sayıda avantajı bir araya getirmek, anten seçimi dediğimiz bir teknikle mümkündür.

ÇGÇÇ sistemi kablosuz haberleşmeyi iki farklı yolla: çeşitleme metodları ve ortam çoklama metodu ile iyileştirir. Çeşitleme metodları alıcı ve verici antenler arasında çok sayıda yol kullanarak iletişim sisteminin BHO bakımından dayanıklılığını artırır. Çeşitleme aynı zamanda çoklu iletim anteni kullanmakla da mümkündür. Fakat, eş zamanlı iletim antenlerinin ortak girişimi bastırılmalıdır.

Diğer bir ÇGÇÇ tekniği, ortam çoklama metodudur. Bu metod, bol miktarda saçılmaya sahip ortamda çok sayıda antenden eş zamanlı olarak iletilen sinyallerin alıcıda sezilebilmesinin mümkün olmasıyla ortaya çıkmıştır. Böylelikle veri, paralel bağımsız veri dizileri halinde gönderilebilmekte ve ortalama kanal kapasitesi artmaktadır. Anten sayısının çoğalmasıyla kanal kapasitesinin artması mümkündür. Bu kazanç kanala paralel hatların ilavesi ile oluşur [2].

Çoklu anten kullanımında her anten için oluşturulan donanımın maliyetli olması bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Verici ve alıcı kısımdaki anten seçimi, gerekli olan RF zincirini, etkili ve verimli bir şekilde azaltan bir metottur. Anten seçimi konusunda yapılan birçok çalışma kanal kapasitesini arttırmaya yöneliktir. Anten sayısının artmasıyla optimal anten seçimi hesaplama miktarı da üstel olarak artmaktadır. Gorokhov'un önerdiği hızlı anten seçiminde, kapasitede çok az kayba neden olan, sırayla her evrede H kanal matrisinin dizileriyle ilişkili alıcı antenlerin elenmesi söz konusudur [3]. Son yıllarda birçok algoritma üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2. ÇGÇÇ Sistemlerde Anten Seçimi

Bu kısımda çoklu ortamdaki ÇGÇÇ kanalı, kanal kapasitesi ve anten seçimi ele alınmıştır.

Rayleigh sönümlenmeli alanda, Şekil 1'deki gibi bir ÇGÇÇ verici-alıcı anten seçimi sisteminde M_t tane verici, M_r tane de alıcı anten olduğu varsayılır. Alıcı antenden verici antene ÇGÇÇ kanal bilgisi gönderilen bir geri besleme olacaktır ve işaret eşit güçle iletilmektedir. Verici ve alıcı antenler ayrık zaman modeli ile,

$$X[k] = \sqrt{E_s} Hs[k] + n[k] \quad (1)$$

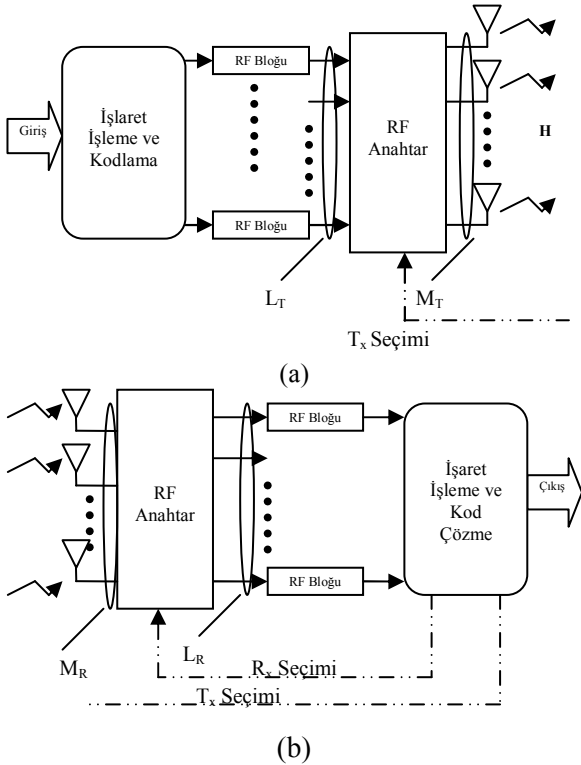
şeklinde gösterilebilir. $x[k]$ alınan sembol vektörünün k 'ncü örneğini, $s[k]$ ise verici sembol vektörünün k 'ncü örneğini göstermektedir. $n[k]$ N_0 güçlü, eklenebilir kompleks beyaz Gauss gürültüsüdür. E_s işaret enerjisidir. H matrisi, $M_t \times M_r$ kanal matrisidir ve bu kanal matrisi sıfır ortalamalı ve birim varyanslı kompleks Gauss elemanlarını içermektedir. Bu ÇGÇÇ kanalının Shannon kanal kapasitesi;

$$C(H) = \log_2 \det(I_{M_t} + (E_s / N_0) H H^*) \quad (2)$$

olarak yazılır. H^* , H matrisinin ters eşleniğidir. I_{M_t} , $M_t \times M_t$ özdeş matrisidir. Kullanılan tekil değer dağılımı (SVD), yüksek işaret gürültü oranlı sistem kapasitesi;

$$C(H) \approx k \log_2 \left(\frac{P}{N} \right) + \sum_{i=1}^k \log_2 \sigma_i^2 \quad (3)$$

olarak yazılır. k kanal matrisinin rankıdır. σ_i tekil değerdir ve ρ , E_s/N_0 olarak tanımlanan işaret gürültü oranı (SNR)'dir [4].



Şekil 1. (a) Verici Anten Seçimi, (b) Alıcı Anten Seçimi

Anten seçiminde alıcı ve verici kısımda yapılan işlemler birbirine benzerdir. Örneğin verici taraftaki anten seçiminde anten, en yüksek eşdeğer alıcı SNR'ye sahip olması şartıyla seçilir. Optimal bir seçim için bütün antenlerin SNR değerlerinin bilinmesi gerekir. Çoklu verici anten seçiminde, L_t tane RF bloğu olduğu, M_t antenleri ($M_t > L_t$) olduğu ve bir anten de alıcıda olduğu varsayılırsa, bu durumda verici anten bütün antenleri tarayacak ve içinden yüksek kanal kazançlı olanları bulacaktır. Optimal anten seçimi, M_t antenlerinden en yüksek SNR'ye sahip olan L_t 'lerin seçiminin yapılması işlemidir. Böylece M_t verici antenlerinden en uygun olan L_t 'nin seçilmesi gerekecektir. Başka bir deyişle yüksek kanal kazançlı L_t verici antenleri seçilecektir. Az sayıda RF bloğu ile çok sayıda verici anten kullanmak ve bu antenler içinden en iyi kanal parametrelerine sahip antenlerin seçilmesi yoluna gidilerek sistem maliyetini düşürme yoluna başvurulmaktadır.

Sistem kapasitesini büyük ölçüde arttırmasına rağmen ÇGÇÇ teknolojisinin çok yüksek karmaşıklığı vardır. Bazı araştırmacılar bu problemi çözmek için farklı fikirlere sahiptirler. Gorokhov'a göre evrensel bir çözüm, iki kısımda da çok sayıda sensör kullanmak ve uyarlanabilir bir şekilde alıcı ve verici antenlerin altkümelerini seçmektir [3]. Yapılan bazı çalışmalar anten altküme seçimi konusunda birleşmektedir.

3. Temel Seçim Algoritmaları

3.1. Optimum Seçim

Optimum anten seçimi algoritmalarında, sisteme maksimum kapasite veren alıcı antenlerin bütün olası aday altkümelerinin ayrıntılı bir şekilde araştırılması gerekir. Sistem kapasitesi aşağıdaki formülle gösterilir [5].

$$C_{optimum}(H) = \max_{\substack{s(H) \\ H=H}} \left\{ \log_2 \left[\det(I_{N_t} + (E_s / N_0) H^H H) \right] \right\} \quad (4)$$

Antenlerin optimum bir şekilde seçimi, bütün kanal matrisinin bilinmesini gerektirir. Düşük karmaşıklıkta sisteme karşıt olan M_r RF bloğu kullanımını zorunlu kılmaktadır. Oysa, yeterli derecede yavaş değişen ortamda, L_r RF blokları eğitim dizisinin 1. parçası boyunca RF blokları 1. L_r antenlerine bağlıdır, daha sonra bir sonraki parça boyunca 2. L_r antenine bağlanır ve bu şekilde devam eder. Eğitim dizisinin sonunda en iyi L_r antenler seçilir. Böylelikle ilave RF blokları yerine daha az eğitim bitlerine ihtiyaç duyulur ve ihmal edilebilen bu ilave eğitim bitleri sayesinde özellikle yüksek veri oranlı sistemlerde, spektral verimlilikte artış sağlanır.

Bu algoritma ile anten seçimi, kapasite artışı sağlamaktadır. Bundan dolayı ÇGÇÇ sistemler için optimum bir sistemdir. Fakat bu algoritma çok yüksek hesap karmaşıklığına sahiptir ve (M_r/L_r) işleminin determinantına ihtiyaç duymaktadır [6]. Bu karmaşıklık da tasarımı uygulanamaz hale getirmektedir.

3.2. Basit Seçim

Zhou Chen basit bir seçim algoritması önermektedir [7]. M_r alıcı antenlerinden L_r 'yi seçmek asıl amaçtır. H 'ın M_r dizileri üzerinde maksimum Frobenius normuna sahip olan eşitlik;

$$C_k = \sum_{i=1}^{M_r} |h_{ki}|^2 \quad k=1,2,\dots, M_r \quad (5)$$

şeklinde yazılır. Rastgele C_k değişkenleri artan büyüklük sırasına göre yeniden düzenlenmelidir. Daha sonra, daha büyük olan L_r 'ler $\{C_1, C_2, \dots, C_{N_r}\}$ kümesinden seçilmektedir. Bu küme L_r verici antenleri ile alakalıdır.

3.3. Kademeli Eleme

Gorokhov alt optimal anten seçimi metodunu önermektedir [3]. Bu tasarıda ana düşünce, alıcı antenlerin sırayla elenmesidir. (H matrisinin sıra kısmı). Böylece her işlem sonunda tek bir H sırası çıkarılacak ve kapasitede çok az bir kayıp olacaktır. M_r antenlerinden, M_r-1 antenlerinin seçimi minimizasyon problemine göre p . antenin çıkarılmasını sağlayacaktır.

$$\hat{p} = \arg \min_p H_p [I_{M_r} + (E_s / N_0) H^* H]^{-1} H_p^* \quad (6)$$

H_p , H 'ın p . sırasını göstermektedir. Bu eleme adımı $(M_r - L_r)$ kere tekrar etmektedir. Her adımda, H kanal matrisi seçilen alıcı antenlerin p . sırası hariç, güncellenmek zorundadır. Ayrıca iterasyonlar boyunca H , bir önceki adımda silinen alıcı antenlerin denk geldiği satır haricindeki alt matrislerle değiştirilmelidir. Verimli olarak süreci tamamlayabilmek için, matris tersi işlemi için çok hızlı güncellemeye ihtiyacımız vardır.

Bu tasarım matris basitleştirmeye dayanmaktadır. Hesaplamayı basitleştirmek için en iyi matris ilişkisi sağlamaktadır. 1. tasarım ile kıyaslanırsa hesaplama karmaşıklığı azaltığı görülmektedir.

3.4. Genetik Algoritma ile Anten Seçimi

Eğer anten seçimi Genetik Algoritma (GA) ile yapılacak olursa, aşağıdaki metot izlenir.

- Problem için çözümlerin genetik temsili oluşturulur.
- Çözümlerin başlangıç popülasyonunu oluşturacak bir yöntem belirlenir.
- Çözümleri uygunluk açısından değerlendirmeye tabii tutacak değerlendirme fonksiyonu yani çevreye ihtiyaç vardır.
- Genetik kompozisyonu değiştirecek operatörler belirlenir.
- Kontrol parametrelerinin değerleri (popülasyon büyüklüğü, operatörleri uygulama ihtimalleri vs.) oluşturulur [8].

Bireylerin başlangıç popülasyonu rastgele veya buluşsal olarak üretilir. Nesil olarak bilinen her evrimsel adımda, şu anki popülasyondaki bireylerin kodu çözülmüştür ve önceden tanımlanmış bazı kalite kriterine göre değerlendirilmektedir. Bu kalite kriterine uygunluk fonksiyonu denir.

Kanal kapasitesinin iki ayrı terim içerdiği görülmektedir. Yüksek işaret gürültü oranlı sistem kapasitesi olan eşitlik 3'de terim değişmez. Eğer ikinci terimin en yüksek değeri bulunursa, maksimum kanal kapasitesi bulunmuş olur, bu da bir birey için evrim fonksiyonu olarak addedilir.

$$C'(H) = \sum_{i=1}^k \log_2 \sigma_i^2 = \log_2 \left(\prod_{i=1}^k \sigma_i^2 \right) \quad (7)$$

Genetik algoritma optimizasyonu için yaklaşık bir uygunluk fonksiyonu gerekir ve bu da eşitlik 7'den elde edilir.

$$F(H_p) = \frac{C'(H_p)}{\sum_{p=1}^P C'(H_p)} \quad (8)$$

P popülasyon büyüklüğü, H_p de p . bireydir. Başlangıçtan sonra, seçim, çaprazlama ve mutasyon olayları sırayla gerçekleşir. Sonuç olarak hemen hemen optimum bir seçim yapılabilir [9,10]. Genetik algoritma, kanal kapasitesini arttırmak için verici anten seçiminde kullanılmıştır. Optimum sonuca yakın sonuçlar üretildiği gözlenmiş ve ayrıca performans bakımından diğer algoritmalara göre üstün olduğu görülmüştür [9].

Çoğunlukla popülasyon tabanlı algoritmaların kaliteli çözümler sağladığı söylenebilir ancak bu algoritmaların çözümlerin seti ile çalışması optimal çözümün bulunması için gereken zamanın aşırı uzamasına neden olabilmektedir. Genetik algoritma, iyi yani, en iyi çözüme yakın çözümleri araştırır ve bu işlemi en iyi sonucu bulmayı garanti etmeksizin makul hesaplama maliyeti ile yapar. Temel bir GA, seleksiyon operatörü, çaprazlama operatörü ve mutasyon operatörünü ihtiva etmektedir. Paralel yapısından dolayı, GA, geniş araştırma uzayını etkin bir şekilde araştırabilir ve operatörleri içerisinde geçiş kurallarını uygular. Bununla birlikte, standart bir GA

iki dezavantaja sahiptir : yerel araştırma yetenekleri yeterli değildir ve erken yakınsamaya maruz kalabilirler.

4. Sonuç

Bu çalışmada, ÇGÇÇ sistemlerde anten seçimi konusu ele alınmıştır. Çeşitli anten seçimi algoritmaları incelenmiş, birbirlerine karşı olan üstünlükleri ve dezavantajları anlatılmıştır. Anten seçimi konusunda henüz ilgi duyulmaya başlanan genetik algoritma ile anten seçimi konusu da incelenmiş ve bu algoritmanın da eksikleri belirtilmiştir. Basit ama güçlü popülasyon tabanlı bir algoritma olan diferansiyel gelişim algoritması, özellikle tamamen düzenlenmiş uzayda tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları küresel olarak optimize etmek amacıyla kullanılan bir direkt araştırma algoritmasıdır. Genetik algoritmaya benzer olarak diferansiyel gelişim algoritması da popülasyon tabanlı bir algoritmadır ve benzer operatörleri: seleksiyon, çaprazlama ve mutasyondur. Diferansiyel gelişim algoritmasında kullanılan basit mutasyon işlemi, algoritmanın performansını geliştirmektedir. Bu özelliğinin yanısıra diğer özellikleri için de şunlar söylenebilir: Hızlı, basit, kolayca kullanılabilir ve değiştirilebilir, etkili küresel optimizasyon kabiliyetli, doğal olarak paralel, kayan-nokta formatına bağlı hassasiyet sınırlamalı, matris çarpımları ve sıralama işlemleri olmadığı için hesaplama maliyeti açısından avantajlı daha önceden tanımlanmış herhangi bir olasılık dağılımlı mutasyon kullanmamakta, tamsayı, ayrık ve karışık parametre optimizasyonuna kolaylıkla uyarlanabilir, tek bir koşmada çoklu (alternatif) çözümler üretebilir ve özellikle doğrusal olmayan sınırlamalı optimizasyon problemlerinde etkilidir. Fakat araştırma uzayında çok sayıda bölgesel minima bulunması halinde küresel minimayı bulma performansı düşmektedir [8]. Bu özellikleri nedeniyle diferansiyel gelişim algoritması, ÇGÇÇ sistemlerde anten seçimi sürecine uygulanabilecek güçlü bir algoritma olduğu değerlendirilmiştir.

5. Kaynaklar

1. DeFlaviis, F., Jofre, L., Romeu, J. and Grau, A., *Multi-Antenna Systems for MIMO Communications: Synthesis Lectures on Antennas*, Morgan & Claypool Publishers, USA, 2006
2. Sanayei, S., Nosratinia, A., “Antenna Selection in MIMO Sytems”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, pp. 68-73, Oct, 2004.
3. Gorokhov, A., “Antenna selection algorithms for MEA transmission systems”, *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 3, pp. 2857-2860, May, 2002.
4. Gore, D., Nabar, R. and Paulraj, A., “Selecting of an optimal set of transmit antennas for a low

- rank matrix channel,’’*Proc. IEEEICASSP*, vol.5, pp.2785-2788, June 2000.
5. Molish, A. F., Win, M.Z., and Winters, J. H., “Capacity of MIMO systems with antenna selection”, *Communications, IEEE International Conference*, vol.2, pp. 570-574, Jun. 2001.
6. Molish, A. F., “MIMO systems with antenna selection – an overview”, *Radio and Wireless Conference*, pp. 167-170, Aug. 2003.
7. Chen, Z., Branka V., Yuan, J., and Ka Leong L., “Analysis of transmit antenna selection/maximal-ratio combining in Rayleigh fading channels”, *Communication Technology Proceedings*, vol. 2, pp. 1532-1536, April. 2003.
8. Karaboğa D., *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2004
9. Guo Q., Kim, S. C., Park, D. C., “Antenna Selection Using Genetic Algorithm for MIMO Systems”, *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E89-A, no.6, pp. 1773-1775, June. 2006.
10. Gen, M., Cheng R., and Wang D., “Genetic algorithms for solving shortest path problems”, *Proc. IEEE Int. Conf. Evol. Comput.*, pp.401-406, April. 1997.